

**EFEITO DA INUNDAÇÃO SOBRE AS
PROPRIEDADES DE UM GLEI POUCO HÚMICO
DE VÁRZEA DO RIO GUAMÁ, NOS MUNICÍPIOS
DE BELÉM E SANTA ISABEL, PA**

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

Presidente
Fernando Henrique Cardoso

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO
Ministro
Francisco Sérgio Turra

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA
Presidente
Alberto Duque Portugal

DIRETORES
Dante Daniel Giacomelli Scolari
Elza Ângela Battaglia Brito da Cunha
José Roberto Rodrigues Peres

CHEFIA DA EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL

Emanuel Adilson Souza Serrão – Chefe Geral
Jorge Alberto Gazel Yared – Chefe Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento
Antonio Carlos Paula Neves da Rocha – Chefe Adjunto de Apoio Técnico
Antonio Ronaldo Teixeira Jatene – Chefe Adjunto de Administração

**EFEITO DA INUNDAÇÃO SOBRE AS
PROPRIEDADES DE UM GLEI POUCO HÚMICO
DE VÁRZEA DO RIO GUAMÁ, NOS MUNICÍPIOS
DE BELÉM E SANTA ISABEL, PA**

Waldemar de Almeida Ferreira
Moisés de Souza Modesto Júnior
Sonia Maria Botelho
Raimundo Evandro Barbosa Mascarenhas



Exemplares desta publicação podem ser solicitados à:

Embrapa-CPATU

Trav. Dr. Enéas Pinheiro, s/n

Telefones: (091) 246-6653, 246-6333

Telex: (91) 1210

Fax: (091) 226-9845

e-mail: cpatu@cpatu.embrapa.br

Caixa Postal, 48

66095-100 – Belém, PA

Tiragem: 200 exemplares

Comitê de Publicações

Leopoldo Brito Teixeira – Presidente

Antonio de Brito Silva

Expedito Ubirajara Peixoto Galvão

Joaquim Ivanir Gomes

Oriel Filgueira de Lemos

Eduardo Jorge Maklouf Carvalho

Maria do Socorro Padilha de Oliveira

Célia Maria Lopes Pereira

Maria de N. M. dos Santos – Secretária Executiva

Revisores Técnicos

Antonio Carlos da Costa P. Dias – FCAP

Klaus Reichardt – ESALQ

Bernardo Van Raij – IAC

Expediente

Coordenação Editorial: Leopoldo Brito Teixeira

Normalização: Célia Maria Lopes Pereira

Revisão Gramatical: Maria de Nazaré Magalhães dos Santos

Moacyr Bernardino Dias Filho (texto em inglês)

Composição: Euclides Pereira dos Santos Filho

FERREIRA, W. de A.; MODESTO JÚNIOR, M. de S.; BOTELHO, S.M.;
MASCARENHAS, R.E.B. **Efeito da inundação sobre as propriedades de
um glei pouco húmico de várzea do rio Guamá, nos municípios de
Belém e Santa Isabel, PA.** Belém: Embrapa-CPATU, 1998. 29p.
(Embrapa-CPATU. Boletim de Pesquisa, 207).

1. Solo glei – Propriedade físico-química – Brasil – Pará – Belém.
2. Solo glei – Propriedade físico-química – Brasil – Pará – Santa Isabel.
3. Solo de várzea – Efeito da inundação. I. Modesto Júnior, M. de S., colab.
II. Botelho, S.M., colab. III. Mascarenhas, R.E.B., colab. IV. Embrapa. Centro
de Pesquisa Agroflorestal da Amazônia oriental (Belém, PA).
- V. Título. VI. Série.

CDD: 631.41098115

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	6
MATERIAL E MÉTODOS.....	8
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	12
CONCLUSÃO.....	27
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	27

EFEITO DA INUNDAÇÃO SOBRE AS PROPRIEDADES DE UM GLEI POUCO HÚMICO DE VÁRZEA DO RIO GUAMÁ, NOS MUNICÍPIOS DE BELÉM E SANTA ISABEL, PA

Waldemar de Almeida Ferreira¹

Moisés de Souza Modesto Júnior²

Sonia Maria Botelho³

Raimundo Evandro Barbosa Mascarenhas³

RESUMO: Estudou-se, durante 72 dias, em laboratório, o efeito da inundação sobre as propriedades do solo de várzea do rio Guamá, nos municípios de Belém e Santa Isabel, no Estado do Pará. Os solos, antes dos tratamentos, apresentaram características químicas e físicas bastante diferenciadas. As características eutróficas do solo de Belém e seus maiores teores de limo e menores de argila, provavelmente, foram influenciados pela qualidade da água do rio Pará, que invade o rio Guamá. A inundação, logo no primeiro dia, causou aumentos nos teores de fósforo, alumínio, ferro e magnésio e no valor do pH dos dois solos, do cobre no solo de Belém, e do manganês, sódio e potássio, no solo de Santa Isabel. No decorrer do tempo de submersão, observaram-se decréscimos no potencial redox e nos teores de alumínio trocável, e aumentos no valor do pH e nos teores de ferro e manganês. O fósforo aumentou nos dois solos, porém, no de Santa Isabel decresceu, a partir do 27º dia. No solo de Belém, os teores de cobre solúvel aumentaram, com o tempo de inundação, enquanto no de Santa Isabel praticamente não variaram.

Termos para indexação: solo, química aquática, fertilidade, inundação do solo.

¹Quím.- Ind., M.Sc., Embrapa Amazônia Oriental, Caixa Postal 48, CEP 66017-970, Belém, PA.

²Eng.- Agr., Embrapa Amazônia Oriental.

³Eng.- Agr., M.Sc. Embrapa Amazônia Oriental.

EFFECT OF FLOODING ON THE PROPERTIES OF SUBMERGED SOILS OF GUAMÁ RIVER IN BELÉM AND SANTA ISABEL, PA

ABSTRACT: During seventy two days, in the laboratory, the flooding effect on soil properties were studied for soils of the floodlands of Guamá river, in the counties of Belém and Santa Isabel, State of Pará, Brazil. Physical and chemical characteristics of the soils are very different between the places. The eutrophic properties, higher levels of silt and lower levels of clay of the soil in Belém is due to the water quality the of the Pará river invading the Guamá river. Flooding on the first day increased phosphorus, aluminium, iron, manganese and pH at both places: copper in Belém and manganese, sodium and potassium in Santa Isabel. During all the flooding time, a decrease occurred on the redox potential and on the exchangeable aluminium level, and an increase of pH, iron and manganese contents. Phosphorus also increased on both places, but, in Santa Isabel it decreased after the twentieth-seventh day. In Belém exchangeable copper increased with the flooding time, whereas in Santa Isabel no variation was observed.

Index terms: soil, water chemistry, fertility, soil submerged.

INTRODUÇÃO

Estima-se que na região do estuário Amazônico existam cerca de 3 milhões de hectares de várzeas, que, em sua maioria, possuem solos de média a alta fertilidade e apresentam teores de cálcio e magnésio relativamente elevados (Falesi, 1972). Essa fertilidade é proporcionada pela deposição de sedimentos orgânico-minerais em suspensão, carregados através de inundações periódicas das águas barrentas do rio Amazonas e seus afluentes (Lima, 1956; Falesi, 1972).

Em que pese suas características químicas, esses solos apresentam propriedades físicas desfavoráveis para a maioria das culturas tradicionais, por serem mal a imperfei-

tamente drenados, apresentando lençol freático alto. Entretanto, são poucas as pesquisas realizadas nas várzeas amazônicas que possam permitir que, além da agricultura de subsistência nela hoje praticada, sejam desenvolvidos projetos visando uma agricultura racional, para produção de grãos, tanto para abastecer a Região Norte, como outras regiões do País.

Também são raras as informações sobre a qualidade da água dos rios da Amazônia e sua influência sobre as propriedades ou características físicas, químicas e físico-químicas desses solos, embora Lima (1956), Sioli (1951), Sioli (1960) já mencionassem que a água exerce sua influência, tanto devido à inundação, como pela diferença de cota nos níveis do lençol freático.

Sioli (1951) dividiu os rios da região em três grupos: rios de **água branca**, que possuem água turva, barrenta ou amarela; rios de **água limpa**, que possuem águas transparentes, de cor verde-amarela até verde escuro; rios de **água preta**, que possuem águas transparentes, de cor variando do verde oliva até marrom-escuro e marrom-avermelhado. O rio Guamá é classificado como de **água limpa**, carregando, nas suas águas, pouca quantidade de materiais em suspensão. Entretanto, Sioli (1951) observou que as marés **empurram** a água barrenta da Baía de Guajará (rio Pará, de **água branca**) no sentido da subida do rio e as partículas suspensas em suas águas depositam-se nas laterais do curso do rio Guamá, de maneira gradativa. Esse efeito pode ser observado até acima de seu efluente, rio Capim (Sioli, 1960), ou até cerca de 50 a 60 quilômetros da foz (Lima, 1956). Talvez por isso, na várzea do rio Guamá, em Belém, exista maior porcentagem de limo e menor de argila, em relação à sua várzea, em Santa Isabel.

A inundação de um solo ou seu alagamento até a saturação cria um ambiente caracterizado por decréscimos na concentração de oxigênio molecular, que pode, em poucos dias, tornar-se nula. Isto ocorre porque a taxa de difusão do

oxigênio, na água, é dez mil vezes menor do que no ar (Howeler, 1973), o que permite que as bactérias aeróbicas absorvam todo o O_2 existente no solo para, em seguida, morrer e ceder seu lugar às bactérias anaeróbicas e anaeróbicas facultativas. Estas tendem a substituir o oxigênio molecular por outras fontes orgânicas e inorgânicas, oxidadas no solo. Ponnampertuma (1972) explica que essa redução do solo solubiliza alguns elementos, como o ferro e o manganês que, às vezes, atingem níveis tão elevados que podem causar toxidez às plantas e variações nas propriedades do solo.

A química dos solos submersos ou química aquática é de interesse científico e ecológico. No científico está relacionada à sua aplicação em geoquímica, pedologia, agricultura, liminologia, oceanografia e poluição. O ecológico dispensa comentários, pelo fato de 72% da superfície de terra estar coberta por solos submersos ou por sedimentos, devendo ser conservados.

O trabalho foi desenvolvido visando contribuir para o entendimento das transformações nas características dos solos de várzea causada pela inundação.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram coletadas 20 amostras superficiais, na profundidade de 0-20 cm, de solo de várzea do rio Guamá, nos municípios de Belém e Santa Isabel. Os solos são classificados como Glei Pouco Húmico, sendo o de Belém, eutrófico a moderado, textura franca e, o de Santa Isabel, álico moderado, textura argilosa.

As coletas foram feitas com auxílio de uma espátula de madeira, especialmente confeccionada para este fim (Fig. 1). As amostras simples, coletadas separadamente em cada município, foram misturadas, acondicionadas em sacos de polietileno de 40 kg e, em seguida, conduzidas para o laboratório. Após, foram secas ao ar, destorroadas com rolo de madeira e passadas em peneira de plástico de 2 mm de abertura de malha.

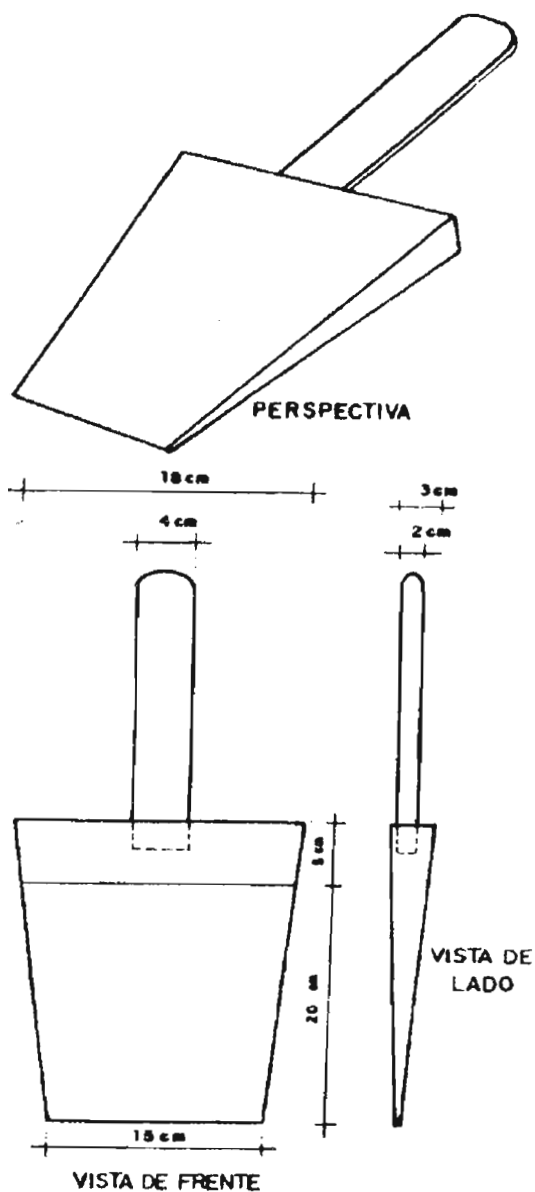


FIG. 1. Detalhe da espátula de madeira adaptada para coleta de solo no campo.

Depois de secas foram transferidas para caixas de isopor com capacidade para três litros, com quatro repetições para cada solo, e inundadas com água deionizada até obter uma lâmina d'água de três centímetros de altura.

Antes da inundação, para a medição do potencial redox, foi introduzido, em cada caixa, um eletrodo de platina e outro de calomelano, que permaneceram até o final das avaliações.

O valor do pH foi medido na própria caixa, minutos antes da coleta das amostras para análise, inserindo-se no solo um eletrodo combinado de vidro e calomelano. As amostras de cada caixa, para análise química, foram retiradas com um "trado" adaptado de uma seringa hipodérmica, da qual foi retirado o fundo do cilindro externo, conforme é mostrado na Fig. 2.

Após cada coleta, eliminou-se o excesso de água com o auxílio de papel absorvente. Uma parte da amostra foi secada em estufa a 105°C, para determinação do fator de umidade.

As amostras dos solos foram analisadas úmidas e os resultados corrigidos para terra fina seca em estufa.

O fósforo, o potássio e o sódio foram extraídos com extrator de MEHLICH e dosados por colorimetria e fotometria de chama, respectivamente (Embrapa, 1979).

O cálcio e o magnésio trocáveis e, o cobre, o ferro, manganês e zinco solúveis foram dosados por espectrofotometria de absorção atômica, sendo o cálcio e magnésio extraídos com solução 1 N de cloreto de potássio e os demais com solução 0,1 N de ácido clorídrico. O nitrogênio foi determinado pelo método de KJELDAHL, enquanto o carbono orgânico, pela ação oxidante do dicromato de potássio em meio ácido e dosado por titulação com solução 0,1 N de sulfato ferroso amoniacal (Walkley & Black, 1934).

Os teores totais de cobre, ferro, manganês e zinco foram dosados por espectrofotometria de absorção atômica no extrato nítrico perclórico.

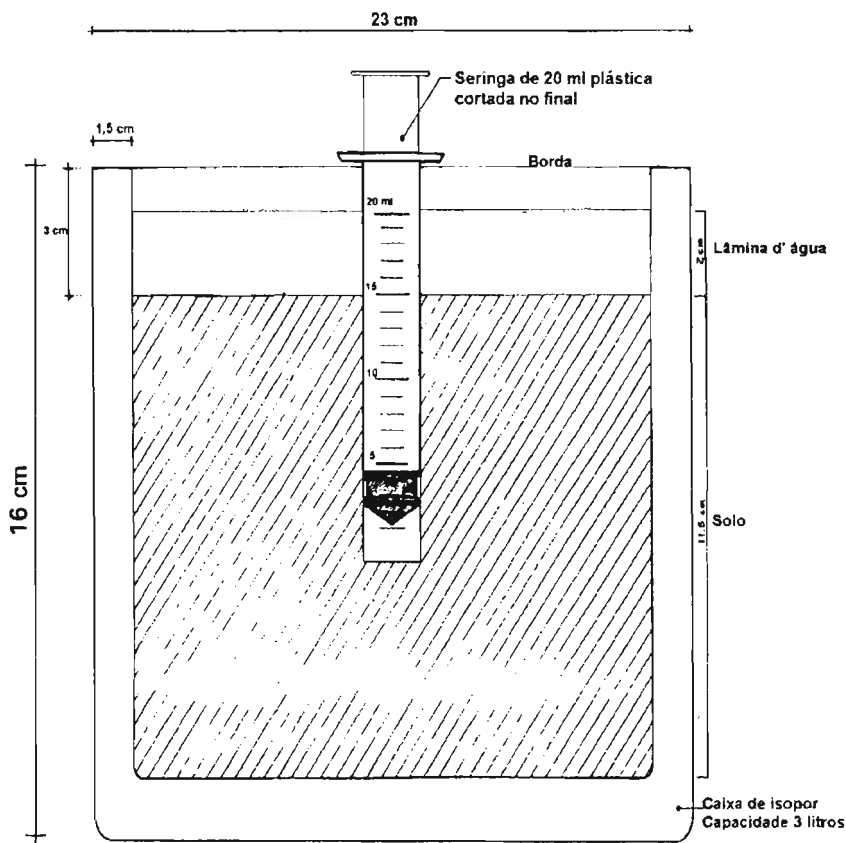


FIG. 2. Esquema montado no laboratório para coleta de amostras de solo com detalhe do "trado" adaptado para este fim, a partir de uma seringa plástica de 20 ml.

A análise granulométrica e o pH foram feitos segundo a metodologia da Embrapa (1979).

O ferro livre (Fe_d) foi extraído pelo citrato-ditionito-bicarbonato (CDB), de acordo com Jackson (1969).

A soma de bases (S), capacidade de troca de cátions efetiva (T), percentagem de saturação de bases, e percentagem de saturação de alumínio foram calculadas de acordo com o Manual de Métodos da Embrapa (1979).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 estão apresentados os teores totais e solúveis de cobre, ferro, manganês e zinco dos solos de várzea do rio Guamá, nos municípios de Belém e Santa Isabel, antes de inundação. Os dados mostram que o solo coletado em Belém apresentou teores totais de todos os nutrientes e teores solúveis de manganês e zinco, mais elevados do que os encontrados no solo de Santa Isabel. Estes resultados podem ser considerados elevados, quando comparados à maioria dos solos da região, principalmente com relação aos teores de cobre e zinco (Singh, 1984).

TABELA 1. Teores de cobre, ferro, manganês e zinco (mg/kg) de amostras de solo, coletadas na profundidade de 0-20 cm, na várzea do rio Guamá, nos municípios de Belém e Santa Isabel, PA.

Município	Cu		Fe		Mn		Zn	
	Total	Solúvel	Total	Solúvel	Total	Solúvel	Total	Solúvel
Belém	8,55	0,82	99.064,00	119,41	493,00	403,41	44,10	3,95
Santa Isabel	8,25	1,25	67.222,00	140,48	54,00	17,37	29,29	1,40

A Tabela 2 mostra as características físicas e os teores de macronutrientes, pH, soma de bases (S), capacidade de troca de cátions efetiva (T), percentagem de saturação de bases, percentagem de saturação de alumínio, e percentagem de ferro livre (Fe_d) dos dois solos, também analisados antes da inundação.

TABELA 2. Características físicas e químicas dos solos de várzea do rio Guamá, nos municípios de Belém e Santa Isabel, PA.

Município	Areia	Limo	Argila		C	M.O.	N	Fe _d	C/N	pH		P mg/kg	Ca	Mg	Na	K	H	Al	S	T	V%	m%
			Total	Natural						H ₂ O	KCl											
g/kg											mmol/kg											
Belém	0	720	270	200	8,7	15,0	1,1	24,1	8	4,6	3,5	3,7	24,8	50,5	3,3	1,5	35,5	15,3	80,1	115,6	69,3	13,2
Santa Isabel	50	430	520	130	13,8	23,8	1,4	41,8	10	4,2	3,1	1,3	23,4	22,6	1,2	2,6	65,1	68,6	49,8	114,9	43,3	59,7

Os resultados mostram que, embora as amostras sejam da várzea do mesmo rio, os solos apresentam características bastante diferenciadas com relação a textura e características químicas. Em Belém, o solo apresentou-se com textura da classe franco-limosa, com 730g/kg de limo, 270g/kg de argila total e isento de areia, enquanto o de Santa Isabel, com textura da classe argilo-limosa, mostrou 50g/kg de areia, 520g/kg de argila e 430g/kg de silte.

Quanto às características químicas, o solo de Belém apresentou teores mais elevados de fósforo e soma de bases, enquanto os de matéria orgânica e nitrogênio foram bastante próximos. Devido os teores de hidrogênio e alumínio trocáveis terem sido mais baixos em Belém, a CTC efetiva (T) do solo de Santa Isabel foi mais elevada. Estes dados indicam que este solo, embora com maior CTC efetiva (T), pode não apresentar as melhores condições para o desenvolvimento das plantas. É necessário que, a este parâmetro, seja associado o teor de alumínio trocável, ou a percentagem de saturação de alumínio que foram, respectivamente: 7,0 mmol_c/dm³ e 7% para o solo de Belém, e 68,6 mmol_c/dm³ e 58% para o solo de Santa Isabel.

O solo de Belém apresentou maiores valores de pH em H₂O e KCl (4,6 e 3,5) que o de Santa Isabel (4,2 e 3,1), o que pode ser explicado pelo menor teor de hidrogênio trocável existente no solo de Belém, associado aos maiores teores de cálcio e magnésio.

Estas diferenças nas características físicas e químicas das amostras coletadas na várzea do rio Guamá em Belém e em Santa Isabel, podem estar relacionadas à qualidade da água deste rio nos dois locais amostrados, pois Sioli (1951), estudando problemas da liminologia amazônica, observou que as marés empurram a água barrenta da Baía de Guajará (rio Pará de **água branca**), no sentido da subida do rio e, as partículas em suspensão nas águas do rio Pará, são depositadas nas zonas laterais do curso do rio Guamá, de maneira gradativa, de tal modo que este efeito, segundo Sioli

(1960), se faz sentir até acima de seu afluente, rio Capim, ou até uns 50 a 60 quilômetros da foz, de acordo com Lima (1956). Isto explica as diferentes características da água do rio Guamá desde a sua foz até a sua desembocadura.

Na várzea do rio Guamá, em Belém, existe maior percentagem de limo e menor de argila, em relação às várzeas em Santa Isabel. Isto pode ser o resultado direto da maior quantidade de deposição inicial das partículas maiores (limo), em suspensão, próximo à desembocadura, em Belém, o que é grandemente influenciado pelas águas do rio Pará. À medida que avança no sentido da desembocadura para a foz, após a predominância de deposição do limo, começa a ocorrer uma inversão, com maior frequência para deposição das partículas menores, no caso a argila, como ocorreu na várzea em Santa Isabel.

O rio Guamá, pela característica de água limpa próximo a sua foz, possui pouco material em suspensão a ser transportado. No entanto, o elevado teor de argila (520g/kg) e a ocorrência de areia (50g/kg) na várzea do município de Santa Isabel, provavelmente, pode ser explicado devido ao arraste dos solos de terra firme (terciário) através dos seus afluentes e também do chão de seu leito que, praticamente, é constituído de areia e pedras.

Nas Tabelas 3 e 4 são apresentados os resultados das análises químicas dos solos coletados nas várzeas do rio Guamá, em Belém e em Santa Isabel, após a inundação. Estes resultados, quando comparados com os da Tabelas 1 e 2, mostram que a inundação, logo no primeiro dia, causou aumentos nos teores de fósforo, alumínio, ferro, magnésio, zinco e nos valores de pH, dos dois solos. Também ocorreram aumentos nos teores de cobre no solo de Belém e de manganês, sódio e potássio, no de Santa Isabel.

TABELA 3. Variação com o tempo de inundação dos teores de macro e micronutrientes, pH e Eh do solo da várzea do rio Guamá, no município de Belém, PA.

Nutrientes	Dias de inundação															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	19	27	29	36	45	54	72
	-----mmolc/kg-----															
P	29,50	22,32	32,37	33,94	36,58	24,00	56,00	62,41	57,10	74,39	112,34	-	100,75	98,14	116,98	108,12
K	1,6	1,6	1,6	1,9	2,1	2,2	2,0	1,7	2,1	2,3	2,1	-	1,7	1,3	1,7	1,7
Na	2,4	2,3	2,4	2,7	2,8	2,7	2,9	2,2	3,0	2,7	3,1	-	2,5	2,0	2,9	2,9
Ca	72,9	74,6	70,5	77,5	72,8	69,6	-	62,2	61,0	59,9	40,4	-	38,5	49,4	42,0	35,4
Mg	70,5	71,4	66,4	67,7	60,3	67,6	-	58,1	54,4	50,7	59,9	-	56,2	55,3	57,6	52,0
Al	9,6	6,5	9,7	10,0	12,0	7,0	8,0	11,0	6,7	8,7	1,1	-	1,2	1,0	-	-
	-----mg/kg-----															
Cu	1,68	2,50	2,82	3,36	3,30	3,96	2,65	3,16	2,54	1,68	2,07	-	2,25	2,50	-	-
Fe	129,95	240,93	385,79	542,39	626,62	685,68	680,30	869,90	737,80	1470,21	-	-	1841,85	1902,12	-	1670,93
Mn	269,47	244,00	296,64	319,33	347,98	358,58	333,42	410,86	440,20	327,93	431,68	-	387,90	344,02	-	310,47
Zn	6,09	8,07	6,77	8,58	8,39	9,62	7,78	8,74	5,34	6,36	10,42	-	8,59	9,41	-	8,54
pH	5,5	5,5	6,2	6,6	6,08	6,7	6,9	6,7	6,8	6,8	-	-	6,9	6,9	6,8	6,7
Eh	+ 500	+ 228,4	+ 282,5	+ 20,0	-97,5	-135,0	-160,0	-165,0	-190,0	-242,5	-232,5	240,5	-	-	-	-

TABELA 4. Variação com o tempo de inundação dos teores de macro e micronutrientes, pH e Eh do solo de várzea do rio Guamá no município de Santa Isabel.

Nutrientes	Dias de inundação														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	19	27	36	45	54	72
	-----mmolc/kg-----														
P	12,19	8,07	7,63	5,09	7,79	5,14	7,88	12,30	3,96	7,40	13,45	12,83	12,79	11,59	10,49
K	3,0	2,2	3,0	2,3	3,6	3,7	3,5	4,1	3,8	4,9	4,4	3,2	3,4	3,5	3,8
Na	2,8	2,3	1,8	2,5	2,9	2,9	1,3	1,4	1,5	4,1	3,9	2,8	2,9	3,6	3,8
Ca	17,0	12,9	20,1	24,5	25,8	22,8	-	17,7	15,3	12,9	11,0	11,7	15,5	14,7	11,1
Mg	44,0	44,0	46,0	46,9	49,7	47,7	-	40,0	39,3	38,7	42,6	37,6	36,4	35,2	36,8
Al	80,5	82,7	82,7	81,4	79,2	69,2	67,9	63,2	40,4	26,1	22,2	13,0	13,3	-	-
	-----mg/kg-----														
Cu	1,08	1,15	1,11	1,25	1,22	1,77	1,60	1,33	1,20	1,23	1,36	1,59	1,95	-	-
Fe	55,48	104,12	125,77	142,87	172,83	129,69	206,90	304,86	254,51	851,76	-	1458,45	1839,23	-	1756,82
Mn	19,65	19,59	19,67	20,74	20,74	20,74	21,21	23,00	22,60	22,83	31,28	23,99	20,54	-	24,21
Zn	2,24	2,31	1,94	2,27	2,45	2,75	2,40	2,24	2,02	1,73	3,13	4,60	3,16	-	2,30
pH	5,5	4,7	4,6	4,8	4,7	4,9	5,1	5,0	5,2	6,2	-	6,2	6,4	6,5	6,5
Eh (mv)	+ 510	+ 540	+ 450	+ 430	+ 420	+ 400	+ 390	+ 160	+ 320	+ 20	+ 10	+ 40	+ 40	-80	-80

Após a inundação, os solos de Belém e Santa Isabel, mostraram um nítido decréscimo nos valores dos respectivos potenciais redox (Fig. 3). Os baixos valores, após a submersão, refletiram o estado reduzido do solo, ao passo que os valores iniciais elevados, são indicativos do meio aeróbico, ou do estado oxidado do solo (Sanchez, 1981), o que mostra que o potencial redox (Eh) é a propriedade mais indicada para distinguir um solo de terra firme, bem drenado, de um solo de várzea ou um solo submetido à inundação.

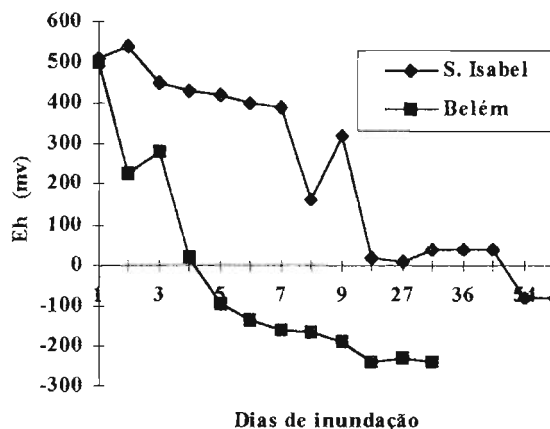


FIG. 3. Variação do potencial redox (Eh) dos solos da várzea do Rio Guamá em Belém e Santa Isabel em função do tempo de submersão.

No solo de Belém o Eh variou de +500 mV, no primeiro dia de amostragem, a -232,5 mV no vigésimo sétimo dia, enquanto que em Santa Isabel, no mesmo período, a variação foi de +510 mV a +10 mV. Este comportamento do Eh dos dois solos, com o tempo de inundação, provavelmente foi influenciado pelas propriedades dos próprios solos.

Em Santa Isabel, o valor do Eh permaneceu positivo até o trigésimo sexto dia e, finalmente, decresceu para -80 mV no quinquagésimo quarto dia de medição. Estes valores positivos poderiam ser devidos a elevados teores de nitra-

to no solo, isto é, teores acima de 275 mg/kg de NO_3 . Ponnampetuma et al. (1964), Ponnampetuma (1965), citado por Ponnampetuma (1972). No solo de Belém, o Eh apresentou comportamento diferente do solo de Santa Isabel pois, já a partir do quinto dia de inundação mostrou Eh negativo ($\text{Eh} = -97,5 \text{ mV}$), e chegou a -240 mV no vigésimo nono dia de inundação.

Uma possibilidade para explicar este comportamento do Eh, com o tempo de inundação, nos dois solos, é a diferença nos teores totais de manganês, pois solos com baixos teores do elemento podem manter potenciais positivos por diversas semanas (Ponnampetuma et al. 1964; Ponnampetuma, 1965), como é o caso do solo de Santa Isabel, que apresentou apenas 54 mg/kg de Mn, contra 493 mg/kg do solo de Belém (Tabela 1).

Os nutrientes que sofreram maiores variações na solubilidade, nos dois solos, foram aqueles envolvidos em reações de oxirredução, como o ferro e o manganês (Tabelas 3 e 4). A mudança na solubilidade do ferro é, provavelmente, a mais importante variação química que ocorre quando um solo é inundado e tem seu potencial de óxido redução reduzido.

Os teores de ferro no solo de Belém e Santa Isabel, variaram de um mínimo de 129,9 mg/kg e 55,4 mg/kg, respectivamente no primeiro dia, ao máximo de 2.793,4 mg/kg e 2.656,6 mg/kg, no 27º dia de inundação. Em seguida, na mesma ordem, esses valores decresceram para 1.841,8 mg/kg e 1.458,4 mg/kg, no 36º dia, aumentaram novamente no 45º dia e, na sequência, novamente decresceram aos 72º dias de inundação, atingindo 1.670,9 mg/kg e 1.756,8 mg/kg. Estas variações são mostradas na Fig. 4, para os solos de Belém e Santa Isabel, respectivamente.

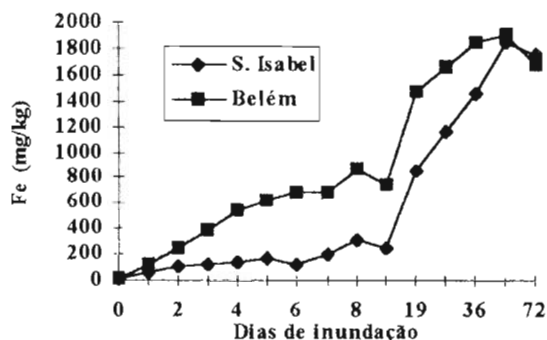


FIG. 4. Variação do teor de ferro dos solos da várzea do Rio Guamá em Belém e Santa Isabel em função do tempo de submersão.

As variações nos teores de ferro encontrados, para Belém e Santa Isabel respectivamente, ficaram entre 50 e 780g/kg e 13 e 440g/kg, dos respectivos teores de ferro livre. Estes resultados estão próximos aos encontrados por Asami (1970) citado por Ponnampertuma (1972) que observou que, cerca de 5 a 50% dos óxidos de ferro livre presentes no solo podem ser reduzidos em poucas semanas de submersão, dependendo da temperatura, conteúdo de matéria orgânica e cristalinidade dos óxidos. Quanto menor o grau de cristalinidade, maior a percentagem de redução.

No entanto os valores do Fe (II) trocáveis e Fe (II) solúveis em água devem ser vistos com cautela porque são altamente dependentes do pH, conforme pode ser observado na equação $\text{pH} + \text{Log Fe}^{++} = 5,4$, e obedece ao equilíbrio $\text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{H}_2\text{O} = \text{Fe}^{++} = (\text{argila})$ (Ponnampertuma, 1972).

A redução é uma consequência do metabolismo de bactérias anaeróbicas e parece ser, principalmente, uma redução química por metabólitos de bactérias (Bloomfield, 1951).

As variações nos teores de potássio, cálcio, magnésio e sódio dos dois solos com a inundação, mostradas nas Tabelas 3 e 4, deveu-se, em grande parte, ao deslocamento destes cátions, dos sítios de troca pelas elevadas concentrações de ferro em solução.

A inundação também causou aumentos nos valores do pH, dos dois solos, conforme é mostrado na Fig. 5. No solo de Belém, o pH variou de 4,6, no solo seco (Tabela 2), para 6,7 aos 72 dias de inundação. No entanto, logo no primeiro dia, e no sétimo dia, o pH já atingiu o valor de 5,5 tendo o maior valor medido (6,9) ocorrido aos 36 e 45 dias. Na várzea em Santa Isabel, a variação foi de 4,2 no solo seco para 6,5 aos 54 e 72 dias (Tabela 2), registrando, assim, um aumento de 2,3 unidades de pH. Os aumentos nos valores do pH destes solos, com o tempo de inundação, eram esperados por se tratarem de solos ácidos (Ponnamperuma, 1972). Nestes solos onde os teores de óxidos hidratados de Fe (III) predominam sobre algum outro oxidante, o aumento no valor do pH, após a inundação, pode ter ocorrido devido à redução do ferro (III), fato que já havia sido observado em pesquisas realizadas por (Ponnamperuma, 1972).

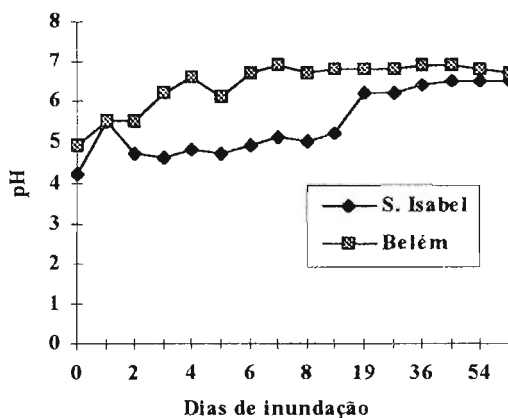


FIG. 5. Variação do pH dos solos da várzea do Rio Guamá em Belém e Santa Isabel em função do tempo de submersão.

Esta, provavelmente, foi a principal razão, não só do aumento no pH dos solos, como também, dos maiores aumentos terem ocorrido no solo de Belém, o qual apresentou maiores teores de ferro total, conforme foi mostrado na Tabela 1.

Os valores do pH do solo de Belém, a partir do quinto dia de inundação, e o de Santa Isabel, a partir do 45º dia, estabilizaram-se em torno de 6,8 e 6,4, respectivamente. Este equilíbrio, provavelmente, foi regulado pela pressão de gás carbônico, pois tanto solos alcalinos como solos ácidos são altamente sensíveis às variações em seus conteúdos de gás carbônico (Ponnamperuma, 1972). Esta também deve ter sido a razão do decréscimo no valor do pH do solo de Santa Isabel, a partir do segundo dia de inundação, pois admite-se que a produção de CO₂, gerada pela respiração das bactérias aeróbicas, inicialmente presentes no solo, podem causar essa queda. Neste solo, o pH atingiu um mínimo de 4,6, registrando no terceiro dia, após o que, aumentou assintoticamente, até a estabilização anteriormente mencionada.

Para melhor explicar os aumentos nos valores do pH dos solos, deve-se lembrar que todas as reações de redução que ocorrem na natureza envolvem consumo de prótons (H⁺) ou um aumento líquido na concentração de oxidrilas (OH⁻), o que significa dizer um decréscimo na acidez ou aumento de pH. Bostron (1967) observou, no entanto, que o aumento de pH não é determinado apenas pelo número de H⁺ consumidos ou H⁻ produzidos, mas sim pela razão entre H⁺ consumidos e $\frac{1}{2}$ H⁻ produzidos.

Na Fig. 6 são mostradas as variações nos teores de fósforo dos dois solos com o tempo de inundação. Estes resultados, quando comparados com os teores antes da inundação, e mostrados na Tabela 2, indicam aumentos da ordem de 7,5 e 9,6 vezes para os solos de Belém e Santa Isabel, respectivamente.

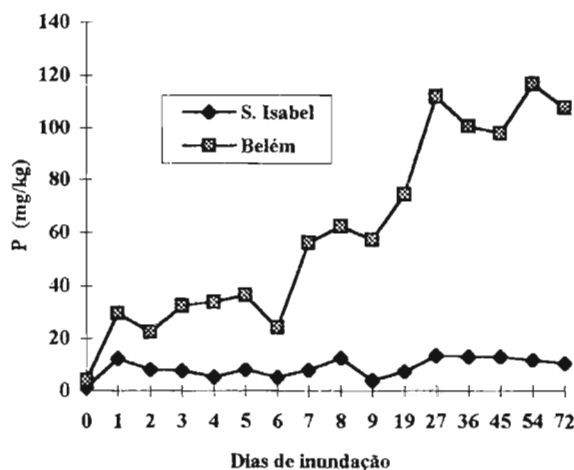


FIG. 6. Variação do teor de fósforo dos solos da várzea do Rio Guamá em Belém e Santa Isabel, em função do tempo de submersão.

Com o tempo de inundação, no entanto, os valores tiveram comportamentos bastante diferentes. No solo de Belém, a solubilidade do fósforo aumentou, praticamente desde o primeiro dia, chegando ao final dos 54 e 72 dias, a superar os 29,5 mg/kg do primeiro dia em 3,96 e 3,66 vezes (Tabela 3).

No solo de Santa Isabel ocorreram pequenas variações nos nove primeiros dias, aumentando gradativamente até 13,45 mg/kg no 27º e, a seguir, decrescendo lentamente até 10,49 mg/kg no 72º dia de inundação (Tabela 4).

Os aumentos ocorridos nos teores de fósforo dos dois solos, provavelmente foi devido a liberação dos fosfatos, de ferro e alumínio predominante nos mesmos, fato que já havia sido observado por Stum & Morgan, (1970).

Ocorre que a inundação de solos ácidos pode causar aumentos nas concentrações de fósforo solúvel, pela hidrólise dos fosfatos de ferro e alumínio, pela liberação de fósforo ligado à argila e óxidos hidróxidos de Fe (III) e Al, e pela redução do Fe (III) para Fe (II), com liberação do fósforo sorvido ou ligado quimicamente. Ponnamperuma (1965),

Savant & Ellis (1964) atribuem o aumento na solubilidade de fósforo, tanto ao decréscimo no Eh, como ao aumento na concentração do Fe (II).

Os maiores teores de fósforo causados pela inundação, alcançados pelo solo de Belém, quando comparados com o solo de Santa Isabel, provavelmente estão relacionados com o maior teor de ferro total existente no mesmo (Tabela 1), com a própria natureza eutrófica da várzea do rio Guamá, em Belém, e com o maior decréscimo no teor de alumínio trocável ocorrido neste solo (Tabelas 3 e 4).

As variações nos teores de manganês, com o tempo de inundação, são apresentados na Fig. 7, para os solos de Belém e Santa Isabel, respectivamente.

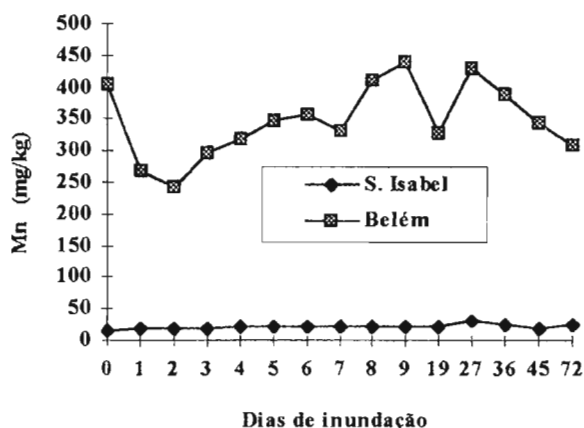


FIG. 7. Variação do teor de manganês dos solos da várzea do Rio Guamá em Belém e Santa Isabel, em função do tempo de submersão.

No solo de Belém, as quantidades extraídas após a inundação foram menores do que as obtidas no solo seco, exceto no nono dia, quando foram extraídos 440,20 mg/kg (Tabela 3), e que superaram em 9% os 403 mg/kg, de manganês solúvel no solo seco mostrado na Tabela 1.

Conforme pode ser observado na Fig. 7, os teores de manganês solúvel tendem a aumentar com o tempo de inundação, embora tenha havido um decréscimo contínuo a partir do 27º dia.

Ao contrário do solo de Belém, em Santa Isabel os teores extraídos foram sempre superiores aos 17,37 mg/kg obtidos no solo seco. Os resultados indicaram um aumento que variou entre 13,12% e 80%. O menor aumento ocorreu no primeiro dia, e o maior, no 27º dia (Tabelas 1, 3 e 4).

Neste solo, ocorreram aumentos até o 29º dia, decrescendo no 36º dia, após o que, os teores permaneceram praticamente estáveis até o final das medições. Os resultados indicam que o balanço final foi de um aumento de 4,56 mg/kg em relação ao primeiro dia de inundação.

Os decréscimos ocorreram nos dois solos após a quarta semana de inundação, provavelmente, devido à precipitação do manganês como carbonato, e/ou a reoxidação do Mn (II), deslocado para a interface oxigenada do solo, conforme mencionado por Ponnampertuma (1972), Ponnampertuma et al. (1969).

Quanto aos teores finais alcançados pelos dois solos, após a estabilização, aos 72 dias, provavelmente, foram influenciados pelos respectivos teores de matéria orgânica e manganês. Resultados semelhantes já haviam sido obtidos por Cho e Ponnampertuma (1971), trabalhando com solos ácidos com diferentes teores de matéria orgânica e manganês.

Os aumentos iniciais nos teores de cobre e zinco, após a inundação nos dois solos, mostrados nas Tabelas 3 e 4, podem estar relacionados com a redução de óxidos hidróxidos de Fe (III) e Mn (IV) e produção de agentes orgânicos complexantes. Por outro lado, o aumento no pH e a formação de sulfetos pode ter sido a causa do decréscimo na concentração destes nutrientes após os 45 dias de inundação.

O efeito da inundação sobre os teores de alumínio são mostrados na Fig. 8, respectivamente, para o solo de Belém e Santa Isabel. Os resultados indicam que a inundação provocou efeito com intensidades diferenciadas nos dois solos, mas ambos tiveram seus teores iniciais reduzidos.

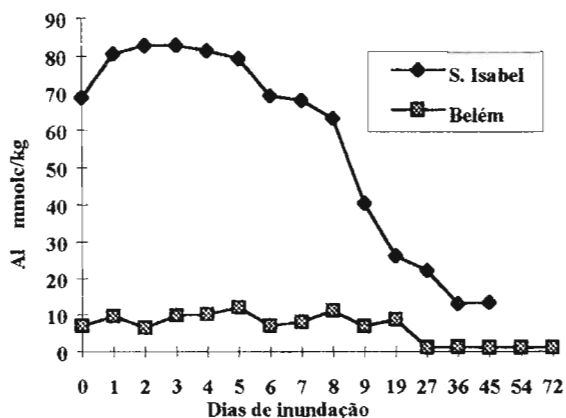


FIG. 8. Variação do teor de alumínio dos solos da várzea do Rio Guamá em Belém e Santa Isabel, em função do tempo de submersão.

No solo de Belém, os teores iniciais sofreram menores reduções que no de Santa Isabel, embora, em ambos, os valores de pH tenham influenciado os resultados, pela precipitação do alumínio trocável como hidróxido. Além disso, a qualidade dos sedimentos dos dois solos, certamente foi determinante no maior poder tampão do solo de Belém, quando comparado com o de Santa Isabel.

CONCLUSÃO

A inundação causa aumentos no valor do pH e nos teores de fósforo, ferro e manganês solúvel, e decréscimos no teor de alumínio trocável e potencial redox dos dois solos.

A influência das águas do rio Pará sobre o rio Guamá, provavelmente, é fator determinante, tanto da textura das várzeas em Belém e Santa Isabel, como da maior fertilidade da mesma em Belém.

A secagem para análise dos solos de várzea estudados não reproduz as características químicas e eletroquímicas dos mesmos, em condições de campo.

Os nutrientes que sofrem maiores variações nos teores são aqueles envolvidos em reações de oxirredução.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLOOMFIELD, C. Experiments on the mechanism of gley formation. **Soil Science**, Oxford, v.2, n.2, p.196-211, 1951.
- BOSTROM, K. Advanc. Chem. SER. n.67, p.286-311, 1967.
- CHO, D.Y.; PONNAMPERUMA, F.N. Influence of soil temperature on the chemical kinetics of flooded soils and the growth of rice. **Soil Science**, Baltimore, Maryland, v.112, n.3, p.184-194, 1971.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. (Rio de Janeiro, RJ) **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1979.
- FALES, I.C.; VIEIRA, L.S.; SANTOS, M.H.P. dos; OLIVEIRA FILHO, J.P.S. **Levantamento de reconhecimento dos solos da região Bragantina, Estado do Pará**. Belém: IPEAN, 1967. 63p. (IPEAN. Boletim Técnico, 47).

- GUIMARÃES, G. de A.; BASTOS, J.B.; LOPES, E. de C. **Métodos de análise física, química e instrumental de solos**. Belém: IPEAN, 1970. 108p. (IPEAN. Química de Solos, v.1, n.1).
- HESSE, P.R. **A textbook of soil chemical analysis**. London: W. Clowes, 1971. 520p.
- HOWLER, R.H. **La química de suelos inundados**. Cali: CIAT, 1973. mimeo.
- JACKSON, M.L. **Soil chemical analysis, advanced course**. Madison: University of Wisconsin. Department of Soils, 1969. 991p.
- KAMPF, N. O ferro no solo. In: REUNIÃO SOBRE FERRO EM SOLOS INUNDADOS, 1., 1987, Goiânia, GO. **Anais**. Goiânia: Embrapa-CNPAF, 1987. 205p. (Embrapa-CNPAF. Documentos, 22) 1988.
- KAMPF, N.; DICR, D. P. Óxidos de ferro em cambissolos brunos no rio Grande do Sul e Sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.8, p.183-188,, 1984.
- LIMA, R.R. **A agricultura nas várzeas do estuário do Amazonas**. Belém: IAN, 1956. 159p. (IAN. Boletim Técnico, 33).
- MEKARU, T.; UEHARA, G. Anion adsorption in ferruginous tropical soils. *Soil. Science Society American Proceeding*, v.36, p.296-300. 1972.
- PONNAMPERUMA, F.N. **The mineral nutrition of rice plant**. Baltimore: Johns Hopkins, 1965. p.295-328.
- PONNAMPERUMA, F.N. A theoretical study of aqueous carbonate equilibria **Soil Science**, Baltimore, Maryland, v.103, n.2, p.90-100, 1967.
- PONNAMPERUMA, F.N. The chemistry of submerged soils. **Advances in Agronomy**. New York, v.24, p.29-96, 1972.

- PONNAMPERUMA, F.N.; CASTRO, R.V.; VALENCIA, C.M. Experimental study of the influence of the partial pressure of carbon dioxide on the pH values of aqueous carbonate systems. **Soil Science Proceedings**, v.33, n.2, p.239-241, 1964.
- PONNAMPERUMA, F.N.; LOY, T.A.; TIANCO, E.M. Redox equilibria in flooded soils: II. The manganese oxide systems. **Soil Science**. Baltimore, Maryland, v.108, p.48-57, 1969.
- RAIJ, B. van. A capacidade de cátions das frações orgânicas e minerais em solos. *Bragantia*, v.28 p.85-112, 1969.
- SANCHEZ, P.A. Soil management in oxisol savannahs and utisol jungles of tropical South America. In: GREENLAND, D. J. ed. **Characterization of soils in relation to their classification and management for crop production**: examples from some areas of the humid tropics. Oxford: Clarendon, 1981. p.214-53.
- SAVANT, N. K.; ELLIS, Jr. R. Changes in redox potencial and phosphorus availability in submerged soil. **Soil Science**, Baltimore, Maryland, v.98, n.6, p.388-394, 1964.
- SINGH, R. **Disponibilidade de micronutrientes em classes dominantes de solos do trópico úmido brasileiro**. 1. Zinco. Belém: Embrapa-CPATU, 1984. 43p. (Embrapa-CPATU, Boletim Técnico, 55).
- SIOLI, H. **Alguns resultados e problemas da limnologia Amazônica**. Belém: IAN, 1951. p.3-44. (IAN. Boletim Técnico, 24).
- SIOLI, H. **Pesquisas limnológicas na região da estrada de ferro de Bragança, Estado do Pará, Brasil**. Belém: IAN, 1960. 91p. (IAN. Boletim Técnico, 37).
- WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of Degtjareff method for determination soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, Baltimore, v.37, p.29-38, 1934.



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Ministério da Agricultura e do Abastecimento
Centro de Pesquisa Agroflorestal da Amazônia Oriental
Trav. Dr. Enéas Pinheiro s/n, Caixa Postal 48,
Fax (091) 276-9845 CEP 66017-970
e-mail: cpatu@cpatu.embrapa.br

